

# Sistema Web para Imputação de Exportações Municipais Brasileiras: Uma Aplicação do Algoritmo de Leal & Martins (2025)

Alan Leal\*

Michelle Marcia Viana Martins<sup>†</sup>

## Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema web interativo para implementação do algoritmo de imputação de exportações municipais brasileiras proposto por (5). O sistema, denominado “Sistema de Imputação de Exportações”, oferece uma interface gráfica amigável que permite aos usuários aplicar o método de estimação espacial para dados de exportação em nível municipal no Brasil. Utilizando a linguagem de programação R e o framework Shiny, o sistema integra análise espacial, visualização de dados e implementação algorítmica em uma plataforma web acessível. O artigo detalha a arquitetura do sistema, suas funcionalidades principais, e demonstra sua aplicação prática através de um estudo de caso com dados de exportação de soja do estado de Roraima em 2024. O sistema representa uma contribuição significativa para a democratização do acesso a métodos avançados de análise espacial aplicada ao comércio internacional brasileiro.

**Palavras-chave:** exportações municipais; sistema web; comércio.

## Abstract

This paper presents the development of an interactive web-based system for implementing the municipal export imputation algorithm proposed by (5). The system, named the “Export Imputation System,” offers a user-friendly graphical interface that enables users to apply the spatial estimation method to municipal-level export data in Brazil. Developed using the R programming language and the Shiny framework, the system integrates spatial analysis, data visualization, and algorithmic implementation into an accessible web platform. The paper details the system’s architecture, its main functionalities, and demonstrates its practical application through a case study using soybean export data from the state of Roraima in 2024. The system represents a significant contribution to the democratization of access to advanced spatial analysis methods applied to Brazilian international trade.

**Key-words:** Municipal exports; web system; trade.

**JEL Codes:** C63; R15; F14.

---

\*Doutorando em Teoria Econômica na Universidade de São Paulo. E-mail: leal@thetalab.com.br.

<sup>†</sup>Professora de Economia na Universidade Federal de Viçosa. E-mail: michelle.viana@ufv.br.

# 1 Introdução<sup>1</sup>

A análise de dados de exportação em nível municipal no Brasil enfrenta um desafio metodológico fundamental: os dados oficiais disponibilizados pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) através do sistema Comex Stat refletem o local de despacho burocrático das exportações, não necessariamente o local de produção dos bens exportados (5). Esta limitação impacta significativamente pesquisas acadêmicas e a formulação de políticas públicas que dependem de informações precisas sobre a capacidade produtiva exportadora dos municípios brasileiros.

Recentemente, (5) propuseram um novo algoritmo para estimação de exportações municipais que distingue entre o local de despacho e o local de produção orientada à exportação. O método combina informações espaciais, dados julgados relevantes pelo pesquisador/*policy maker* e estruturas de dependência espacial para estimar a verdadeira distribuição espacial da produção exportadora brasileira.

Embora o algoritmo represente um avanço metodológico significativo, sua implementação prática requer conhecimentos especializados em programação e econometria espacial, limitando sua adoção pela comunidade acadêmica e por formuladores de políticas públicas. Seguindo a tendência observada em outros campos da econometria espacial (10), existe uma demanda crescente por ferramentas que democratizem o acesso a métodos analíticos avançados através de interfaces gráficas amigáveis.

O presente artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e as funcionalidades de um sistema web interativo que implementa o algoritmo de (5) para imputação de exportações municipais brasileiras. O sistema, desenvolvido utilizando a linguagem de programação R (9) e o framework Shiny (3), oferece uma interface gráfica intuitiva que permite aos usuários aplicar o método sem necessidade de conhecimentos avançados de programação.

## 2 Metodologia

### 2.1 Algoritmo de Imputação Espacial

O sistema web implementa integralmente o algoritmo proposto por (5). O método fundamenta-se na premissa de que a distribuição espacial da produção orientada à exportação pode ser estimada através da combinação de três componentes principais: (i) dados oficiais de exportação municipal (HS4), (ii) informações espaciais da localização da atividade econômica exportadora (trabalho no artigo original, (5)), e (iii) estruturas de dependência espacial.

A fórmula central do algoritmo é expressa como:

$$E_{i,HS6} = \alpha W E_{i,HS4} + r E_{i,HS6}^* \quad (1)$$

onde:

- $E_{i,HS6}$  representa as exportações municipais estimadas no nível HS6
- $\alpha$  é o coeficiente de proporção estadual definido como  $\alpha = \frac{E_{estado,HS6}}{E_{estado,HS4}}$
- $W$  é uma matriz de pesos espaciais row-normalized  $n \times n$
- $E_{i,HS4}$  são as exportações municipais observadas no nível HS4

---

<sup>1</sup>O site pode ser acessado no seguinte link: <https://alanleal.shinyapps.io/ExpImputacao/>.

- $r$  é um vetor  $n \times 1$  que representa a relevância de cada município na força de trabalho formal estadual do setor
- $E_{i,HS6}^*$  é definido como  $\sum_{i=1}^I \alpha(E_{i*,HS4} - W E_{i*,HS4})$

O algoritmo satisfaz propriedades importantes de consistência dimensional, separabilidade e agregação, garantindo que a soma das exportações municipais estimadas seja consistente com os totais estaduais observados.

## 2.2 Especificação da Matriz de Pesos Espaciais

O sistema permite a criação de diferentes tipos de matrizes de pesos espaciais ( $W$ ), incluindo:

**Matriz de Contiguidade Queen:** Define relações de vizinhança baseadas em contiguidade geográfica, onde municípios são considerados vizinhos se compartilham fronteiras ou vértices.

**Matriz de Contiguidade Rook:** Matriz de vizinhança que define como vizinhos os municípios que compartilham uma fronteira linear (borda) em comum, excluindo os casos em que apenas se tocam por vértices (pontos).

**Matriz de Distância Inversa:** Utiliza a distância euclidiana entre centroides municipais, aplicando pesos inversamente proporcionais à distância.

Todas as especificações são implementadas utilizando funções do pacote `spdep` (1), garantindo consistência metodológica com a literatura de econometria espacial.

## 2.3 Construção do Vetor de Relevância

O vetor de relevância ( $r$ ) é construído utilizando conhecimento do pesquisador sobre a atividade econômica exportadora. Em (5), por exemplo, dados do mercado do trabalho foram utilizados. Contudo, outros dados, desde que assumam o formato de *shares*, isto é, somem 1, podem ser utilizados como parametrização. O sistema permite o input desse parâmetro, mas também simula uma distribuição uniforme desse parâmetro assim como uma distribuição proporcional às exportações municipais registradas no Comex Stat ao nível SH4.

# 3 Arquitetura do Sistema

## 3.1 Tecnologias Utilizadas

O sistema foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação R (9) e o framework Shiny (3), que permite a criação de aplicações web interativas. A escolha tecnológica foi motivada pela robustez do ecossistema R para análise espacial e pela facilidade de integração com pacotes especializados.

Os principais pacotes utilizados incluem:

- `shiny` (3): Framework para desenvolvimento de aplicações web
- `shinydashboard` (4): Interface de dashboard para Shiny
- `DT` (12): Visualização interativa de tabelas
- `dplyr` (11): Manipulação de dados
- `sf` (7): Manipulação de dados espaciais

- `spdep` (1): Análise de dependência espacial
- `geobr` (8): Dados geográficos brasileiros
- `writexl` (6): Exportação de dados para Excel
- `leaflet` (2): Mapas interativos

## 3.2 Estrutura Modular

O sistema adota uma arquitetura modular organizada em cinco componentes principais, cada um correspondendo a uma etapa do processo de imputação:

**Módulo de Configuração:** Permite ao usuário definir parâmetros básicos como estado de análise, código HS6, e tipo de matriz espacial.

**Módulo de Dados:** Responsável pelo carregamento e validação de dados de exportação municipal e informações geográficas.

**Módulo de Resultados e Exportação:** Implementa o algoritmo de imputação e apresenta os resultados estimados. Nessa aba, o usuário também consegue exportar os seus resultados.

**Módulo de Mapas:** Oferece visualização cartográfica dos dados originais e resultados estimados.

# 4 Funcionalidades do Sistema

## 4.1 Interface Principal

A Figura 1 apresenta a interface principal do sistema, que oferece uma visão geral das funcionalidades disponíveis e orientações para utilização. A interface foi projetada seguindo princípios de usabilidade, com navegação intuitiva e feedback visual adequado.

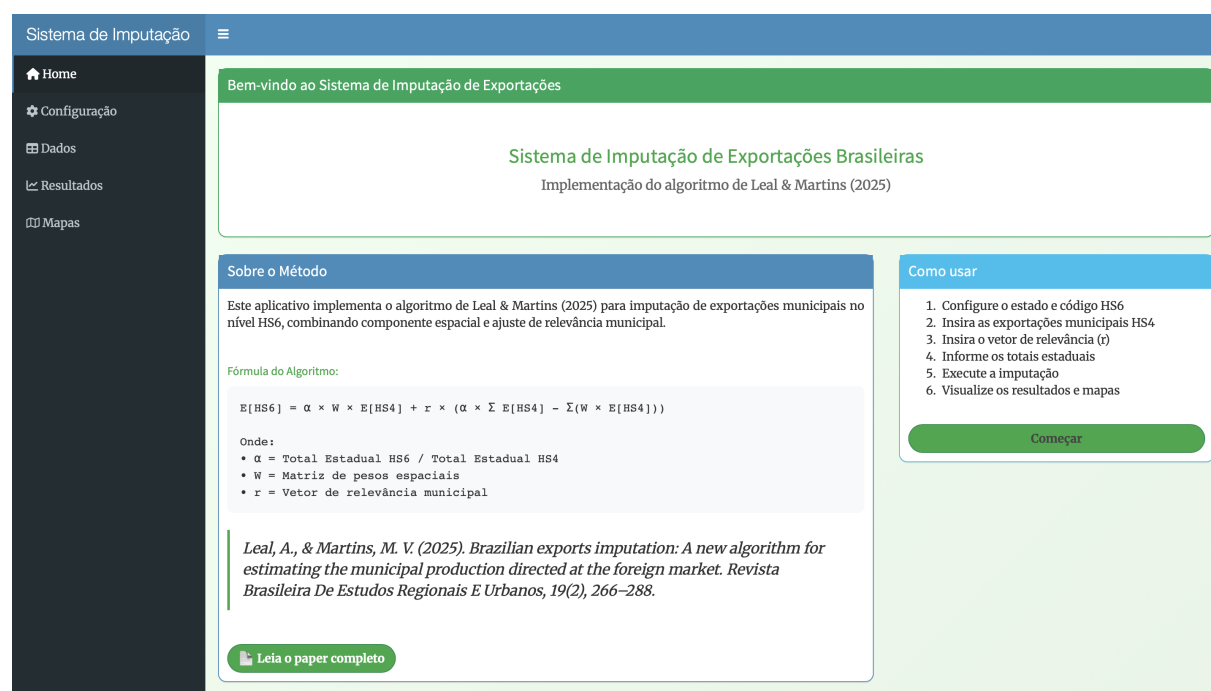


Figura 1: Interface principal do Sistema de Imputação de Exportações

## 4.2 Configuração de Parâmetros

A Figura 2 ilustra o módulo de configuração, onde usuários podem especificar os parâmetros essenciais para a imputação. O sistema oferece validação em tempo real dos parâmetros inseridos, garantindo a consistência dos inputs.

Figura 2: Módulo de configuração de parâmetros

As opções de configuração incluem:

- Seleção do estado brasileiro para análise
- Especificação do código HS6 do produto de interesse
- Escolha do tipo de matriz de pesos espaciais (Queen, Rook ou Distância Inversa)

## 4.3 Processamento

A Figura 3 mostra a interface de dados oriundos do Comex Stat e de escolha do pesquisador (r). O sistema apresenta uma listagem de municípios da UF considerada que dita a ordem de entrada dos dados. Cada linha corresponde a um único município para as exportações municipais a nível SH4, conforme registradas no Comex Stat, e o vetor r. Os dados precisam ser ordenados pela listagem dos municípios presente logo que o usuário acessa a aba de Dados. Isso é necessário para que haja um alinhamento dos dados inseridos pelo usuário e o *shapefile* subjacente à análise. Os dados precisam ser colados, o upload deles não é possível. Há a opção do download dos municípios na ordem necessária de upload. Ademais, há opção de o usuário inserir o total estadual exportado no código SH6 analisado e no SH4 correspondente, ambos necessários para implementar o procedimento.

**Sistema de Imputação**

**Lista de Municípios**

1. Alto Alegre
2. Amajari
3. Boa Vista
4. Bonfim
5. Cantá
6. Caracaraí
7. Caroebe
8. Iracema
9. Mucajaí
10. Normandia
11. Pacaraima
12. Rorainópolis
13. São João Da Baliza
14. São Luiz
15. Uiramutã

**Exportações Municipais HS4**

Cole um valor por linha, na ordem da lista:

```

0
0
0
0
0
0
0
0
336767
0
0
0
0
0
0

```

**Vetor de Relevância (r)**

Cole um valor por linha, na ordem da lista:

Valores devem somar 1.0

```

0.01
0
0
0.1
0.1
0.1
0.1
0.1
0.1
0
0

```

**Totais Estaduais**

Total Estadual HS4: 62623213

Total Estadual HS6: 62623213

HS6 deve ser  $\leq$  HS4

**Validação e Execução**

- ✓ Municípios carregados: 15
- ✓ Exportações municipais: 15 valores válidos
- ✓ Vetor r: 15 valores, soma = 1.0
- ✓ Total estadual HS4: 62,623,213
- ✓ Total estadual HS6: 62,623,213

**EXECUTAR IMPUTAÇÃO**

Figura 3: Input de Dados do Comex Stat e parâmetro r pelo usuário

## 4.4 Resultados

Os resultados incluem:

- Exportações municipais originais (HS4)
- Exportações municipais estimadas (HS6)
- Diferença entre valores originais e estimados
- Participação relativa de cada município no total estadual
- Indicadores de qualidade da estimação

A Figura 4 indica o conteúdo exibido na aba de Resultados.

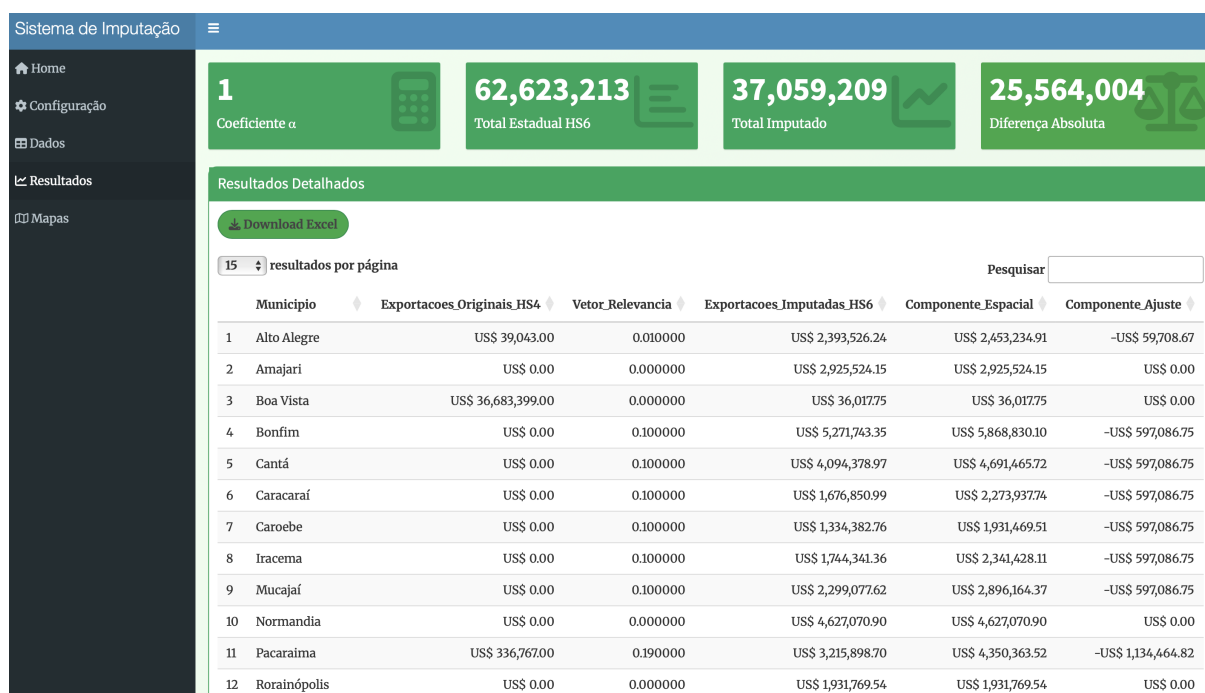


Figura 4: Resultados da Implementação mais Opção de Download dos Dados

## 4.5 Mapas

O sistema oferece capacidades avançadas de visualização cartográfica através do módulo de mapas (Figura 5). Utilizando a biblioteca Leaflet (2), os mapas são totalmente interativos, permitindo zoom, pan, e consulta de informações específicas por município.

As funcionalidades cartográficas incluem:

- Mapas coropléticos dos dados originais e estimados
- Comparação lado-a-lado entre diferentes especificações
- Identificação de clusters espaciais de alta e baixa exportação
- Sobreposição de informações auxiliares (rodovias, portos, etc.)

A Figura 5 apresenta as opções de mapeamento disponíveis no sistema.

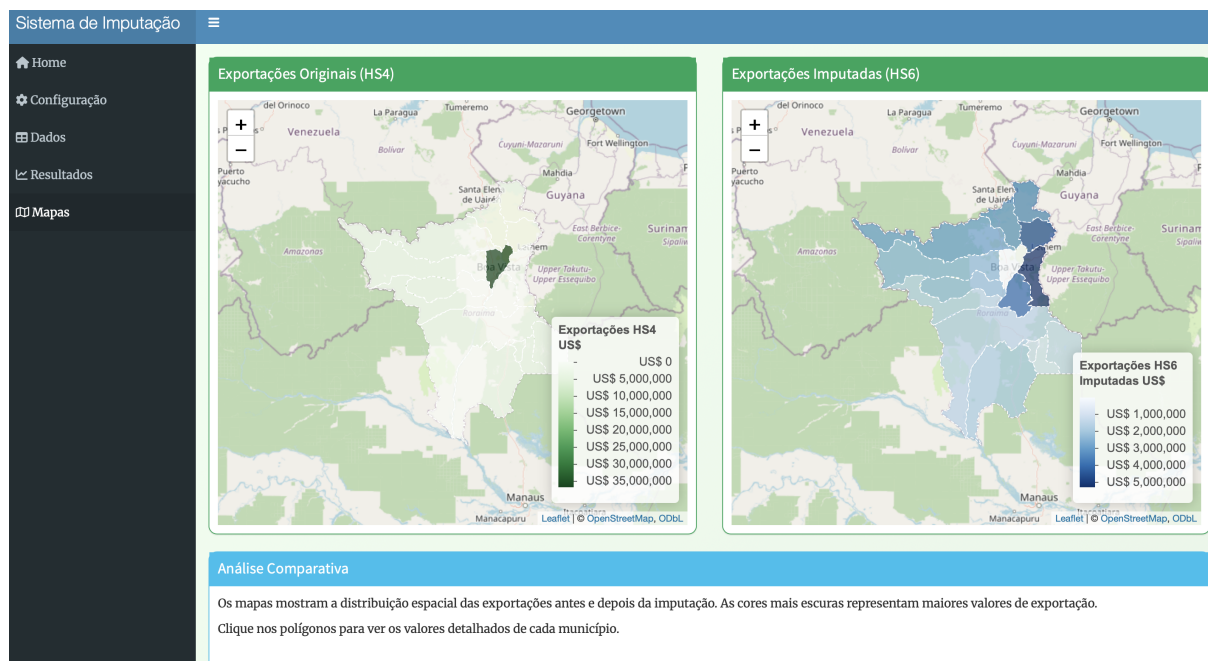


Figura 5: Visualização em formato de mapas dos resultados

## 5 Discussão e Implicações

### 5.1 Contribuições Metodológicas

O sistema desenvolvido representa uma contribuição significativa para a democratização do acesso a métodos avançados de análise espacial aplicada ao comércio internacional. Ao implementar o algoritmo de (5) em uma interface web amigável, o sistema remove barreiras técnicas que tradicionalmente limitavam a aplicação destes métodos a especialistas em programação.

### 5.2 Aplicações Potenciais

O sistema possui aplicações diversas em pesquisa acadêmica e formulação de políticas públicas:

**Pesquisa Acadêmica:** Estudos sobre competitividade regional, análise de cadeias produtivas, e impactos de políticas comerciais podem beneficiar-se de estimativas mais precisas da distribuição espacial da produção exportadora.

**Políticas Públicas:** Formuladores de políticas podem utilizar as estimativas para desenhar programas de incentivo à exportação, planejar infraestrutura logística, e avaliar impactos regionais de acordos comerciais.

**Setor Privado:** Empresas podem utilizar as informações para análise de mercado, localização de facilidades produtivas, e estratégias de sourcing.

## 6 Considerações Finais

O Sistema de Imputação de Exportações representa um avanço significativo na disponibilização de ferramentas analíticas avançadas para a comunidade interessada em comércio internacional brasileiro. Ao combinar rigor metodológico com acessibilidade prática, o sistema contribui para a democratização da análise espacial aplicada ao comércio exterior.

A implementação web do algoritmo de (5) demonstra o potencial de ferramentas digitais para ampliar o impacto de avanços metodológicos. O sistema está disponível gratuitamente em <https://alanleal.shinyapps.io/ExpImputacao/>, promovendo o acesso aberto a recursos analíticos de alta qualidade.

## Referências

- [1] Bivand, R. e Wong, D. W. S. (2018). Comparing implementations of global and local indicators of spatial association. *TEST*, 27(3):716–748.
- [2] Cheng, J., Karambelkar, B., e Xie, Y. (2021). *leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library*. R package version 2.0.4.1.
- [3] Chang, W., Cheng, J., Allaire, J., Sievert, C., Schloerke, B., Xie, Y., Allen, J., McPherson, J., Dipert, A., e Borges, B. (2021). *shiny: Web Application Framework for R*. R package version 1.7.1.
- [4] Chang, W. e Ribeiro, B. B. (2021). *shinydashboard: Create Dashboards with 'Shiny'*. R package version 0.7.2.
- [5] Leal, A. e Martins, M. M. V. (2025). Brazilian exports imputation: A new algorithm for estimating the municipal production directed at the foreign market. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, 19(2):266–288.
- [6] Ooms, J. (2021). *writexl: Export Data Frames to Excel 'xlsx' Format*. R package version 1.4.0.
- [7] Pebesma, E. (2018). Simple features for R: Standardized support for spatial vector data. *The R Journal*, 10(1):439–446.
- [8] Pereira, R. H. M., Gonçalves, C. N., et al. (2019). *geobr: Loads Shapefiles of Official Spatial Data Sets of Brazil*. GitHub repository.
- [9] R Core Team (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- [10] Saldanha, R. e Almeida, E. (2021). Tobler: um aplicativo web para econometria espacial. *Anais do XLIX Encontro Nacional de Economia*.
- [11] Wickham, H., François, R., Henry, L., e Müller, K. (2021). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. R package version 1.0.7.
- [12] Xie, Y., Cheng, J., e Tan, X. (2021). *DT: A Wrapper of the JavaScript Library 'DataTables'*. R package version 0.20.